

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

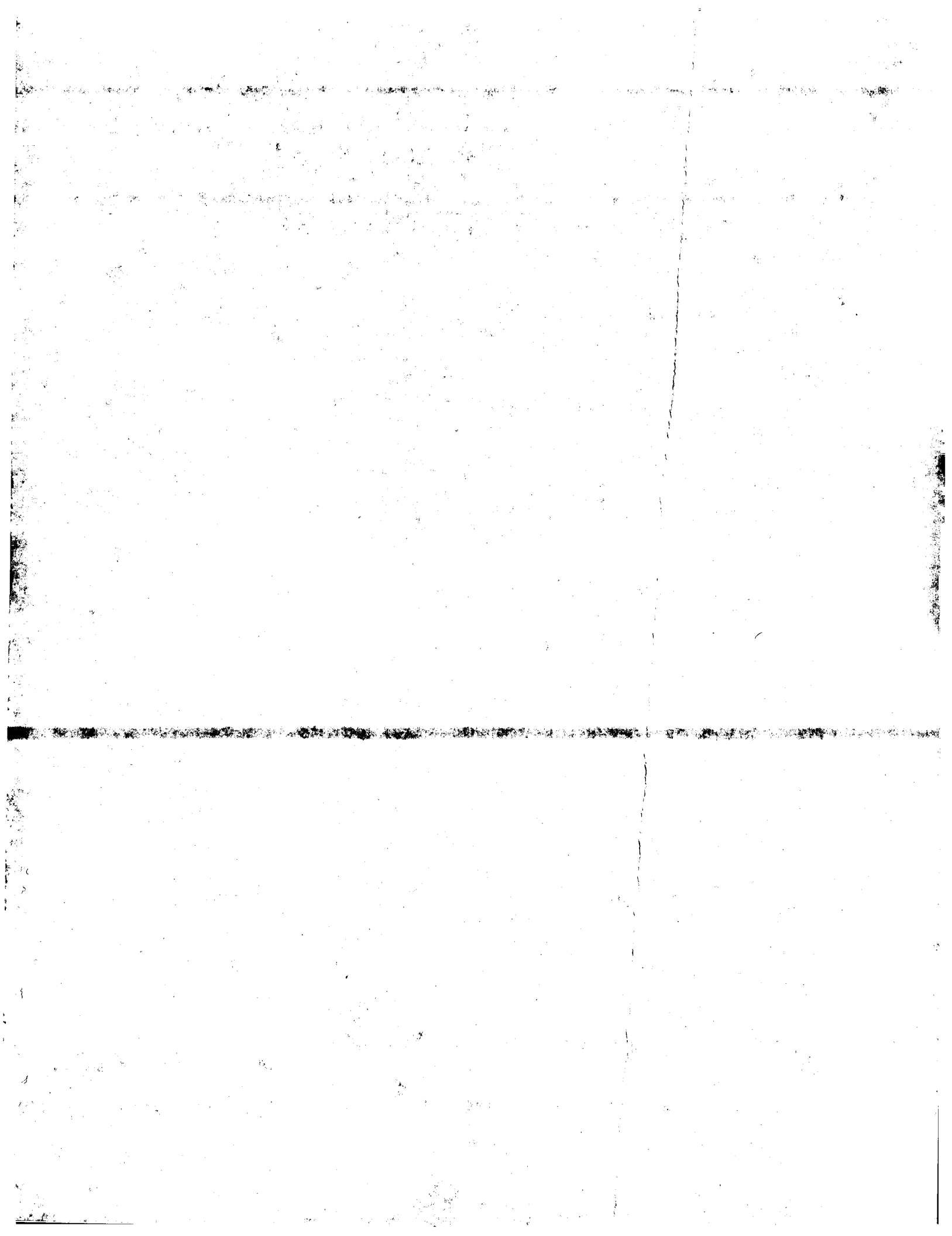
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**





①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 26 696 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 06 K 9/64**  
G 06 K 9/32

②1 Aktenzeichen: 197 26 696.7  
②2 Anmeldetag: 24. 6. 97  
④3 Offenlegungstag: 7. 1. 99

23 NOV. 1999

DE 197 26 696 A 1

⑦1 Anmelder:  
JENOPTIK AG, 07743 Jena, DE

⑦2 Erfinder:  
Gräf, Michael, 07747 Jena, DE; Wienecke, Joachim,  
07747 Jena, DE; Graf, Uwe, 07747 Jena, DE;  
Hoffmann, Günter, 07743 Jena, DE; Franke,  
Karl-Heinz, 98693 Ilmenau, DE; Jakob, Lutz, 07743  
Jena, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 44 10 603 C1  
DD 2 80 840 A1  
K. ITOH, A. HAYASHI, Y. ICHIOKA "Digitized  
optical microscopy with extended depth of  
field" in: Applied Optics, Vol. 28, No. 15,  
1989, S. 3487-3493;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Fokussierung bei der Abbildung strukturierter Oberflächen von scheibenförmigen Objekten

⑤7 Bei einem Verfahren zur Fokussierung bei der Abbildung strukturierter Oberflächen von scheibenförmigen Objekten besteht die Aufgabe, der Bildverarbeitung Bilder zur Verfügung zu stellen, die zu einer Erhöhung der Erkennungssicherheit von Fehlern und einer Senkung der Pseudofehlerrate führen.

Ein durch geregelte Verstellung hergestellter Abstand zwischen einer zur Auflage für die Objekte dienenden Trägerebene zu einer Bezugsebene wird gemäß der Erfindung durch einen unregelmäßigen, mindestens für ein Teilgebiet der Oberfläche anzuwendenden Voreinstellwert der Regelung korrigiert.

Das Verfahren ist vorwiegend anwendbar in der Prozeßkontrolle von Halbleiterwafern im Herstellungsprozeß.

DE 197 26 696 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Fokussierung bei der Abbildung strukturierter Oberflächen von scheibenförmigen Objekten durch geregelte Verstellung des meßbaren Abstandes einer zur Auflage für die Objekte dienenden Trägerebene zu einer Bezugsebene.

Das Verfahren ist vorwiegend anwendbar in der Prozeßkontrolle von Halbleiterwafern im Herstellungsprozeß.

Aufgabe einer Inspektion bei der Herstellung integrierter Schaltkreise ist es, sowohl unstrukturierte als auch auf strukturierte Halbleiterwafer bildfeldweise abzutasten, vorhandene Defekte zu detektieren und diese schließlich durch Klassifikation Fehlergruppen zuzuordnen.

Nach der DE 44 10 603 C1 ist ein Verfahren bekannt, das der Erkennung von Fehlern spezifische Bildpunktmerkmale eines von der Oberfläche des Halbleiterwafers aufgenommenen Bildes zugrundelegt. Eine derartige direkte Fehlerdetektion auf der Grundlage natürlicher Unterscheidungsmerkmale zwischen Untergrund und Defekt und der typischen Eigenschaften verschiedener Defektarten kommt im Gegensatz zum Soll-Ist-Vergleich weitgehend ohne umfangreiche Informationen zur Sollstruktur aus, da sie von bestimmten Grundregeln bzw. Regelabweichungen bei der Bilderkennung ausgeht. Solche Regeln bzw. Regelabweichungen sind im wesentlichen durch Farb- und Formmerkmale der Sollstruktur oder der Sollsicht bzw. des Fehlers gegeben.

Charakteristisch für das Verfahren ist, daß ein durch Bildpunktklassifikation erzeugtes Zwischenbild Bildpunktmerkmale als in Grauwerte umgewandelte Zugehörigkeitswahrscheinlichkeiten zu Gebieten, die durch Anlernen bekannt gemacht sind, enthält, einschließlich der Grauwertstufungen von Übergängen zwischen aneinander angrenzenden Gebieten.

Für die Auswertung der Bildinhalte nach der Grundidee der Prozeß- und Qualitätskontrolle ist es von besonderem Interesse, wie und in welcher Qualität die Strukturen und Fehler als dreidimensionale Gebilde mit Hilfe von Optiken abgebildet werden.

Da im Bild dargestellte Strukturen und Fehler der Oberfläche des Halbleiterwafers ihr tatsächliches Aussehen in Abhängigkeit vom Fokuszustand verändern, ist dessen Einstellung von außerordentlicher Bedeutung.

Bekannte optische Verfahren zur Bewertung eines Fokuszustandes besitzen den Nachteil, große Reflexionsgradschwankungen über kleinere und größere Bereiche des Halbleiterwafers und weitere Einflußfaktoren, wie z. B. Keilfehler, Rauigkeit, Welligkeit sowie Strukturhöhen Schwankungen im Bildfeld, die zum Teil größer sind als die Schärfentiefe, nicht zufriedenstellend zu bewältigen. So simulieren Reflexionsgradschwankungen im Ergebnis der Bewertung nicht vorhandene Höhenschwankungen oder Tischauffehler, die es auszuregeln gilt.

Bei der nach dem Verfahren gemäß der DE 44 10 603 C1 durchzuführenden Bildpunktklassifikation in Form einer Farbklassifikation, die davon ausgeht, daß sich die zu ungestörten Strukturkomponenten gehörenden, durch Stichprobenanalyse schätzbaren Farbvalenzen in ihrer Statistik durch ellipsoide Cluster im Farbraum beschreiben lassen und fehlerverdächtige Bildpunkte außerhalb der Cluster liegende Fehlercluster liefern, ist eine Trennung der Fehlercluster von den Clustern der ungestörten Strukturen erheblich gestört.

Die Folge ist eine Erhöhung der Pseudofehlerrate sowie eine Verringerung der Erkennungssicherheit. Pseudofehler sind Erscheinungen in der Ergebnisdarstellung der Inspektion, die auf Grund ihrer Eigenschaften vom Inspektionssy-

stem als Fehler erkannt werden, obwohl sie keine sind.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, der Bildverarbeitung Bilder zur Verfügung zu stellen, die zu einer Erhöhung der Erkennungssicherheit von Fehlern und einer Senkung der Pseudofehlerrate führen.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Fokussierung bei der Abbildung strukturierter Oberflächen von scheibenförmigen Objekten durch geregelte Verstellung des meßbaren Abstandes einer zur Auflage für die Objekte dienenden Trägerebene zu einer Bezugsebene erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der durch geregelte Verstellung hergestellte Abstand durch einen ungeregelten, mindestens für ein Teilgebiet der Oberfläche anzuwendenden Voreinstellwert korrigiert wird.

Die Ermittlung des für ein Teilgebiet gültigen Voreinstellwertes erfolgt anhand einer Bildfolge an mindestens einer Position in einem, im wesentlichen ebenen Referenzgebiet der Oberfläche, zu deren Aufnahme unterschiedliche Voreinstellwerte der Fokusregelung dienen, wobei die Qualität des Fokuszustandes nach mindestens einer Regel bewertet wird.

In einer ersten Variante dient der zum kontrastreichsten, durch Bildverarbeitung bestimmten Bild gehörige Voreinstellwert zur Einstellung eines korrigierten Abstandes.

In einer zweiten Variante dient der zum Bild mit minimaler Anzahl der Fehler gehörige Voreinstellwert zur Einstellung eines korrigierten Abstandes.

In einer dritten Variante dient der zum Bild mit minimaler Anzahl der Fehlerpixel im Verhältnis zur Gesamtfehlerfläche gehörige Voreinstellwert zur Einstellung eines korrigierten Abstandes.

Schließlich dient in einer vierten Variante der zum Bild mit minimaler Anzahl der Pseudofehlerpixel gehörige Voreinstellwert zur Einstellung eines korrigierten Abstandes.

Eine Auswahl des Referenzgebietes erfolgt nach dem geringsten Gradienten des Höhenprofils der Oberfläche, zu dessen Bestimmung die Werte des Abstandes der Trägerebene zur Bezugsebene an Orten sich wiederholender Höhenmarken für den Voreinstellwert der Fokusregelung zu ermitteln sind, bei dem mindestens eine Regel erfüllt ist.

Bei der Inspektion in Form einer bildfeldweisen Fehlersuche wird zur Fokussierung der für die Bildfeldposition ermittelte Voreinstellwert der Fokusregelung verwendet.

Zur Defektklassifikation, bei der ein Bild, das einen zu klassifizierenden Fehler enthält mit einem Referenzbild verglichen wird, erfolgt die Aufnahme des Referenzbildes mit dem für die Referenzbildposition ermittelten korrigierten Abstand der Trägerebene zur Bezugsebene.

Zur Aufnahme des Bildes mit dem zu klassifizierenden Fehler wird der Wert des Abstandes der Trägerebene zur Bezugsebene für die Fokuseinstellung verwendet, der zum kontrastreichsten Bild einer Serie von Bildern mit dem zu klassifizierenden Fehler gehört, für die der für die zugehörige Bildposition ermittelte Voreinstellwert der Fokusregelung in Stufen variiert wird.

Durch die Erfindung wird der Fokuseinstellung somit mindestens ein Voreinstellwert zugrundegelegt, dessen Bestimmung durch Anlernen anhand von Referenzgebieten und auf das Ergebnis gerichteten Regeln erfolgt.

Durch eine adaptive Regelung wird erreicht, daß vor allem spezifische Eigenschaften des Objektes bei der Fokussierung zum Zwecke der Fehlererkennung und -klassifizierung berücksichtigt werden. Außerdem werden störend auf die Fokussierung wirkende gerätechische Einflüsse eliminiert.

Die Erfindung soll nachstehend anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 eine Einrichtung zur Fokussierung bei der Abbil-

dung strukturierter Oberflächen

**Fig. 2a-2c** Binärbilder von Bildfeldern eines Fehlergebietes, die mit verschiedenen Fokuseinstellungen aufgenommen sind

**Fig. 3** die Bildverarbeitungseinheit und Kameraansteuerung in einem Blockschaltbild

**Fig. 4a-4c** Binärbilder von Bildfeldern eines Fehlergebietes, die mit verschiedenen Fokuseinstellungen aufgenommen sind zur Ermittlung der Anzahl der Pseudofehlerpixel.

Bei der in **Fig. 1** dargestellten Einrichtung zur Fokussierung bei der Abbildung strukturierter Oberflächen trägt ein als x-y-Tisch ausgelegter Wafertisch 1, von dem nur der in x-Richtung verstellbare Teil dargestellt ist, ein Fokusstellsystem 2. Mittels Piezoelemente 3 ist ein Träger 4 zur Aufnahme eines scheibenförmigen Objektes 5, wie z. B. eines Wafers in vertikaler Richtung zu Fokussierzwecken gegenüber der Fokusebene F-F eines Mikroskopobjektivs 6 verstellbar.

Die relative Verstellung der Trägerebene E-E gegenüber der Fokusebene F-F ist mit einem induktiven Meßsystem 7 ermittelbar, indem der Abstand zu der als Bezugsebene B-B dienenden Tischoberfläche gemessen wird.

Das induktive Meßsystem 7 ist als Feinzeigerregelung auch dazu geeignet, die Höhenposition der Trägerebene E-E als Sollwert einzuregeln, wobei der Sollwert durch eine Gerätesteuerung und -regelung 8 bei dem noch zu beschreibenden erfindungsgemäßen Fokussierverfahren vorgegeben wird.

In den Strahlengang des Mikroskopobjektivs 6 sind mittels teildurchlässiger Umlenkspiegel 9, 10 eine Lichtquelle 11 über eine Beleuchtungsoptik 12, ein Fokusmeßsystem 13 und ein CCD-Meßsystem 14 eingekoppelt. Letzteres verfügt in seinem Strahlengang zusätzlich über ein abbildendes Tubussystem 15 und einen Umlenkspiegel 16.

Mit der zentralen Gerätesteuerung und -regelung 8 sind eine Tischansteuerung 17, eine Bildverarbeitung und Kameraansteuerung 18 und eine Fokusregelung 19 verbunden.

Nicht dargestellte x- und y-Meßsysteme sind an die Eingänge der Tischansteuerung 17 angeschlossen. Die Ausgänge der Tischansteuerung 17 führen zu ebenfalls nicht dargestellten x- bzw. y-Antrieben für den Wafertisch 1.

Ein- und Ausgänge der Bildverarbeitung und Kameraansteuerung 18 sind mit dem CCD-Meßsystem 14 verbunden.

Während an die Eingänge der Fokusregelung 19 das Fokusmeßsystem 13 und das induktive Meßsystem 7 geführt sind, ist das Fokusstellsystem 2 mit den Ausgängen gekoppelt.

Durch die Gerätesteuerung und -regelung 8 wird ein zur Waferinspektion gehörendes Fahr- und Betriebsregime vorgegeben.

Über die Tischansteuerung 17 und die x- bzw. y-Antriebe wird der Wafertisch 1 im Schrittbetrieb in die erforderlichen Positionen gefahren, wobei die x- und y-Meßsysteme das Erreichen der beabsichtigten Position signalisieren. Das Mikroskopobjektiv 6 und das Tubussystem 15 bilden die Waferoberfläche auf das CCD-Meßsystem 14 ab. Über die Bildverarbeitungseinheit und Kameraansteuerung 18 erfolgt eine Bildaufnahme.

Zur Herstellung eines Fokuszustandes, der auswertbare Bilder garantiert, dient ein Fokussiersystem, das aus dem Fokusmeßsystem 13, dem Fokusstellsystem 2 und der Fokusregelung 19 besteht.

Die als LED ausgebildete Lichtquelle 11 strahlt im nahen Infrarothereich, bei ca. 870 nm zur sauberen Trennung vom "Meßlicht" der Defektkontrolle (nicht dargestellt). Außerdem wird die LED zur Vermeidung von Fremdlichteinflüssen mit ca. 3,3 kHz getaktet.

Das Fokussiersystem arbeitet nach einem Meßprinzip, bei dem ein Testobjektbild durch das Mikroskopobjektiv 6 auf die zu fokussierende Oberfläche abgebildet wird. Intensitätsdifferenzen, die durch eine im allgemeinen versetzte telezentrische Rückabbildung gegenüber einem identischen Referenztestobjekt entstehen, werden in zwei getrennten Kanälen durch zwei Fotodioden erfaßt und anschließend ausgewertet. Der fokussierte Zustand ist erreicht, wenn die Intensitätsdifferenz Null ist.

Damit dieser Zustand erreicht wird, werden die den Intensitäten entsprechenden Fotodiodenströme in Spannungssignalen gewandelt, verstärkt der Fokusregelung 19 zugeführt und digitalisiert. Ein Regelalgorithmus berechnet einen auszugebenden Hochspannungsstellwert, der als Analogsignal dem Fokusstellsystem 2 zur Vertikalverstellung des Trägers 4 übergeben wird.

Entscheidend für eine variable Nutzung des Fokussiersystems ist die Maßnahme, der gemessenen Intensitätsdifferenz additiv einen in bestimmter Art und Weise festgelegten Digitalwert in Form eines Offsets oder Voreinstellwertes zu überlagern.

Damit der Regelalgorithmus trotzdem als Null-Regelung arbeitet, muß der Träger 4 mit dem Objekt 5 soweit vertikal verstellt werden, daß die mit dem Fokusmeßsystem 13 gemessene und digitalisierte Intensitätsdifferenz gerade genauso groß ist wie der definierte Offset, jedoch mit entgegengesetztem Vorzeichen.

Gemäß der Erfindung kann somit über den Offset einerseits die Anpassung der Regelungsebene an die tatsächliche Fokusebene F-F erfolgen, andererseits können gezielte Ablagen von dieser Ebene eingestellt werden.

Wesentlich ist, daß die über den Offset eingestellte z-Position des Objektes 5 weiterhin eine geregelte Position ist, indem Wafertopologien weiterhin ausgeregelt werden. Im wesentlichen erfolgt eine Parallelverschiebung der realen Objektoberfläche.

Ein bestimmter Wert des Offsets kann somit, abhängig von der Position des x-y-Tisches, unterschiedliche Werte des induktiven Meßsystems 7 zur Folge haben, weil diesem die Tischoberfläche als Bezugsebene B-B dient.

Das Fokussiersystem arbeitet auch beim Verfahren des Objektes 5 von einer Position zur nächsten. Es werden Meßsignale in hoher Folge (mindestens 40 ms) generiert, auf die die Fokusregelung 19 und das Fokusstellsystem 2 ständig reagieren.

Von besonderer Bedeutung für die vorliegende Erfindung ist die Verwendung des CCD-Meßsystems 14 in Verbindung mit der Bildverarbeitung und Kameraansteuerung 18 zur Feststellung des mit dem Fokussiersystem eingestellten Fokussierzustandes, indem mit Hilfe einer Kontrastfunktion eines an sich bekannten Kontrastprogramms aus einer Bildfolge das kontrastreichste und damit schärfste Bild errechnet wird.

Einer für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wesentlichen Anpassung der Fokussierung dient eine Arbeitsweise, nach der Voreinstellwerte für die Fokusregelung bestimmt werden, bei denen die Pseudofehlerrate gemäß der Aufgabenstellung minimiert ist. Es werden Regeln angewendet, denen die Auswirkungen verschieden starker Defokussierungen zugrundegelegt sind.

Optimale Fokussierung, **Fig. 2a**, bei einer Fokusslage  $f_{n0}$  bedeutet, daß Fehler optimal detektiert werden.

Im dargestellten Bildfeld, das sich in einzelne Pixel  $P_i$  unterteilt, ist ein Fehler  $F_0$  (Anzahl  $n_0$ ) mit einer Gesamtfehlerfläche  $A_0$  vorhanden. Pseudofehler  $P_{F0}$  sind im vorliegenden Idealfall nicht vorhanden.

Bei einer geringen Defokussierung  $f_{n1}$ , **Fig. 2b**, steigt die Fehleranzahl auf  $n_1 > n_0$  im Vergleich zu **Fig. 2a** durch das

Auftreten erster Pseudofehler  $P_{F1}$ . Der tatsächliche Fehler  $F_1$  wird kleiner, die Gesamtfehlerfläche  $A_1 > A_0$  wächst aber wegen der höheren Anzahl der Pseudofehler. Die Anzahl der Fehlerpixel  $P_1 > P_0$  steigt.

Bei einer starken Defokussierung  $f_{n2}$ , Fig. 2c, steigen Anzahl und Größe der Pseudofehler  $P_{F2}$  und damit die Gesamtfehlerfläche  $A_2 > A_1$  deutlich an. Die Fehleranzahl steigt auf  $n_2 > n_1$ , die Anzahl der Fehlerpixel auf  $P_2 > P_1$ .

Zur Regelanwendung wird in Ruhestellung des x-y-Tisches eine Bildserie von "n" Bildern mit jeweils um einen Wert "m" modifizierten Voreinstellwerten für die Fokussierung von der Waferoberfläche eingelesen, binarisiert, abgespeichert und mit entsprechenden Bildverarbeitungsalgorithmen bearbeitet. Das Binärbild beinhaltet den entsprechenden Defekt und die Pseudodefekte. Diese Bilder der Bildserie werden zur Ermittlung des Optimalfokus und damit des optimalen Voreinstellwertes verwendet. Das ausgewählte Bild wird zur Detektion und Klassifizierung des Defektes verwendet.

Der Verfahrensdurchführung dieser Verfahrensweise dient ein Aufbau für die Bildverarbeitung und Kameraansteuerung 18 gemäß Fig. 3. In analoger Weise zu Fig. 1 ist die Bildverarbeitung und Kameraansteuerung 18 ein- und ausgangsseitig mit der Gerätesteuerung und -regelung 8 verbunden, von der außerdem eine ein- und ausgangsseitige Verbindung zur Fokusregelung 19 besteht. In die Fokusregelung 19 werden Daten des Fokusmeßsystems 13 eingespeist, durch die das Fokussellsystem 2 regelbar angesteuert werden kann.

In der Bildverarbeitung und Kameraansteuerung 18 ist eine Ansteuereinheit 20 ein- und ausgangsseitig mit dem CCD-Meßsystem 14, einem Framegrabber 21, einer Binarisierung 22, einem Bildspeicher 23 und einer Arithmetikeinheit 24 verbunden. Mit einem weiteren Ausgang ist die Ansteuereinheit 20 an eine Einheit zur Bildverarbeitung und Klassifizierung 21 gekoppelt, die ebenfalls einen Zugriff auf den Bildspeicher 23 besitzt. Eine Verbindungskette ist außerdem vom CCD-Meßsystem 14 über den Framegrabber 21 und die Binarisierung 22 zum Bildspeicher 23 hergestellt.

Vorteilhaft ist es, zwischen dem Framegrabber 21 und der Binarisierung 22 weitere Komponenten zur Bildbearbeitung 25 anzuschließen, die der Bildverbesserung, der Rauschunterdrückung und der Defekterkennung dienen.

Nach einer ersten, von den zur Anwendung kommenden Regeln soll die Anzahl der Fehler im Bildfeld zu einem Minimum werden.

In der Arithmetikeinheit 24 erfolgt eine Überprüfung durch Zählen der Fehler in einer für den Fachmann geläufigen Weise in jedem der im Bildspeicher 23 abgespeicherten Binärbilder. Mit jedem erkannten Fehler wird der Zähler z. B. um eine Einheit weitergesetzt. Das Bild mit minimaler Anzahl der Fehler wird ausgewählt.

Die Ansteuereinheit 20 bewirkt eine Übergabe dieses Bildes an die Bildverarbeitung/Klassifizierung 21, in der eine Klassifizierung der im Bildfeld vorhandenen Defekte nach bekannten Regeln entsprechend ihrer Farbe, Struktur und Form mit Hilfe eines Klassifikators erfolgt.

Die klassifizierten Defekte werden in einer Verarbeitungseinheit 26 zusammengefaßt, abgespeichert und stehen nach Beendigung der Inspektion zur Anzeige zur Verfügung.

Nach einer zweiten Regel soll die Anzahl der Fehlerpixel im Verhältnis zur Gesamtfehlerfläche zu einem Minimum werden.

In jedem abgespeicherten Binärbild werden die Fehlerpixel im Verhältnis zur Gesamtfehlerfläche gezählt. Das Bild mit den wenigsten Fehlerpixeln wird ausgewählt und der

Bildverarbeitung/Klassifizierung zugeführt.

Nach einer dritten Regel, die in den Fig. 4a-4c verdeutlicht wird, soll die Anzahl der Pseudofehlerpixel zu einem Minimum werden.

Pseudofehlerpixel  $P_{PF}$  sind Fehlerpixel, die nicht dem eigentlichen Fehler  $F$  zuzuordnen sind, wobei der Fehler  $F$  die zahlenmäßig größte zusammenhängende Anhäufung von Fehlerpixeln darstellt.

Es werden auch solche Fehlerpixel  $P_F$ , die einen Mindestabstand  $d_{min}$  zum Fehler unterschreiten, diesem zugerechnet. Die unter dieser Voraussetzung übrigbleibenden Pseudofehlerpixel  $P_{PF}$  werden gezählt.

Im vorliegenden Beispiel gemäß der Fig. 4a-4c, bei dem ein Abstand  $d$  zum Fehler  $F$  von einer Pixelbreite kleiner ist als der Mindestabstand  $d_{min}$ , ergeben sich in Fig. 4a fünf, in Fig. 4b ein und in Fig. 4c vier Pseudofehlerpixel  $P_{PF}$ .

Das Binärbild, das die wenigsten Pseudofehlerpixel  $P_{PF}$  (Fig. 4b) aufweist, wird ausgewählt und zur Bildverarbeitung/Klassifizierung verwendet.

Schließlich soll nach einer vierten Regel der Fehler mit höchstem Kontrast abgebildet werden.

Die mit dem CCD-Meßsystem 14 über den Framegrabber 21 aufgenommenen Bilder werden in der Bildbearbeitungseinheit 25 bearbeitet und einem Kontrastmaximierungsverfahren unterzogen.

Ein Kontrastmaximierungsverfahren beruht darauf, daß das Bildfeld in Fenster von z. B.  $3 \times 3$  Pixel aufgeteilt wird. In jedem dieser Fenster wird der Grauwert des Zentralpixels in den digitalen Stufen 0 bis 255 ermittelt und die Differenz zu den Grauwerten seiner Nachbarpixel berechnet. Aus diesen Differenzen wird ein Mittelwert gebildet. Die so für jedes Fenster ermittelte Grauwertdifferenz wird über das gesamte Bildfeld summiert. Das Ergebnis wird mit dem Bildfeld abgespeichert. Das Verfahren wird für jede der vorgegebenen Fokuseinstellungen wiederholt. Das kontrastreichste Bildfeld ist dasjenige mit der maximalen Grauwertdifferenz und wird zur Bildverarbeitung/Klassifizierung verwendet.

Für die Ausführungsbeispiele zur Fokussierung bei der Inspektion und bei der Defektklassifikation wird vorwiegend von der vierten Regel Gebrauch gemacht, was jedoch keine Einschränkung der Anwendbarkeit der übrigen Regeln bedeutet.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens müssen sowohl für die Inspektion als auch die Defektklassifikation zunächst Grundeinstellwerte für die Fokusregelung gefunden werden, die einerseits geräte technische Einflüsse kompensieren andererseits den Suchbereich für einen, auf ein Teilgebiet der Oberflächen bezogenen Einstellwert der Fokussierung einengen. So ist z. B. eine Angleichung des im Infrarotbereich arbeitenden optischen Fokusmeßsystems 13 an das CCD-Meßsystem 14, das mit sichtbarem Licht arbeitet, erforderlich. Andere störende Einflüsse sind Driften und Optiktoleranzen.

Von einer gerätefesten Teststruktur in Form eines Schachbrettmusters wird aus einer Bildfolge mit unterschiedlichen Voreinstellwerten für die Fokusregelung mit Hilfe des CCD-Meßsystems 14 und des Kontrastprogramms das kontrastreichste Bild ausgewählt. Der zu diesem Bild gehörige Voreinstellwert für die Fokusregelung bildet den Grundeinstellwert oder Grundoffset  $OFFS\_G$ .

Für die Fokussierung bei der Inspektion ist es von Bedeutung, ob die zu inspizierende Oberfläche unstrukturiert oder strukturiert ist.

Eine unstrukturierte Oberfläche ist im wesentlichen frei von Reflexionsgradschwankungen. Strukturtopologische Einflüsse auf die Fokuseinstellung sind unbedeutend.

Einer Anpassung der Fokussierung an den Halbleiterwafer und insbesondere an Fehler auf dessen unstrukturierter

Oberfläche dient eine Arbeitsweise, nach der unter Zugrundelegung des Grundeinstellwertes OFFS\_G von einem ausgewählten Fehler eine Bildserie mit verschiedenen Voreinstellwerten für die Fokusregelung aufgenommen wird. Die Ermittlung des Voreinstellwertes, bei dem die Pseudofehlerrate gemäß der Aufgabenstellung minimiert ist, erfolgt durch Regelanwendung in Form der zweiten Regel.

Für die Inspektion strukturierter Oberflächen ist es erforderlich, daß das optische Fokusmeßsystem an die Waferdicke und den Bildinhalt des Halbleiterwafers angepaßt wird.

Das erfolgt anhand eines Referenzgebietes, das einem Teilgebiet auf dem Halbleiterwafer entspricht und auch ein Chip oder der Teil eines Chips sein kann.

Die Größe des Referenzgebietes ist dadurch bestimmt, daß auch in den Randbereichen mit der gefundenen Anpassung des optischen Fokusmeßsystems in Form des Voreinstellwertes der Fokusregelung keine Defokussierung auftritt.

Zur Auswahl des Referenzgebietes dient ein Verfahren, mit dem an den Orten sich wiederholender Höhenmarken (Marken, die das Höhenprofil wiedergeben) unter Zugrundelegung des Grundeinstellwertes Offset\_G aus Serien von Bildern, von denen jedes mit einem anderen Voreinstellwert der Fokusregelung aufgenommen wird, durch Bildverarbeitung für jeden Ort das kontrastreichste Bild ermittelt wird.

Jeweils dem kontrastreichsten Bild zugeordnete Werte des Abstandes der Trägerebene E-E zur Bezugsebene B-B ergeben ein Höhenprofil des Halbleiterwafers. Als Referenzgebiet ist ein ebenes Gebiet geeignet, für das das Höhenprofil den geringsten Höhengradienten besitzt.

Innerhalb des Referenzgebietes wird an mindestens einer ausgewählten Position unter Zugrundelegung des Grundeinstellwertes OFFS\_G wiederum eine Bildserie mit verschiedenen Voreinstellwerten der Fokusregelung aufgenommen. Der dem jeweiligen, durch Bildverarbeitung ermittelten, kontrastreichsten Bild zugeordnete Voreinstellwert der Fokusregelung wird als Referenzeinstellwert OFFS\_ref<sub>xi,yi</sub> Bezugsbasis für die Inspektion und mit seinen Ortskoordinaten (i für die x-Richtung, j für die y-Richtung) gespeichert.

Entsprechend der Anzahl der ausgewählten Positionen ist das Gebiet mit Voreinstellwerten des optischen Fokusmeßsystems angelernt.

Die Einrichtung ist nunmehr in der Lage, mit dem Referenzgebiet vergleichbare Gebiete mit dem Ziel der Fehlererkennung bildfeldweise zu inspizieren.

Im regionalen Einstellwert ist die Wafertopologie des Gebietes erfaßt. Strukturbedingte Reflexionsgradschwankungen beeinflussen im allgemeinen die Fokussierung nicht in störender Weise aufgrund ihres Wiederholcharakters.

Sofern sich die Reflexionsverhältnisse in verschiedenen Gebieten trotz gleichen Bildinhalts unterscheiden, ist es selbstverständlich möglich, diese in der bereits beschriebenen Weise über die Aufnahme einer Bildserie auszugleichen.

Auch für die Defektklassifikation ist es erforderlich, das optische Fokusmeßsystem an die Waferdicke und den Bildinhalt des Halbleiterwafers unter Verwendung eines Referenzgebietes anzupassen. Die Auswahl des Referenzgebietes erfolgt in gleicher Weise wie bei der Inspektion. Die wesentlichen Auswahlkriterien sind deren Ebenheit und die Freiheit von Fehlern.

Bei der Defektklassifikation ist es für jeden Wafer weiterhin erforderlich, Reflexionsgradschwankungen auf seiner Oberfläche auszugleichen.

Zu diesem Zweck wird an mindestens einem Ort des Referenzgebietes von einer Höhenmarke unter Verwendung

des Grundeinstellwertes OFFS\_G eine Bildserie mit unterschiedlichen Voreinstellwerten der Fokusregelung aufgenommen und durch Bildverarbeitung das kontrastreichste Bild ausgewählt. Der zugehörige Einstellwert der Fokussierung OFFS\_ref und der Abstand FP\_ref der Trägerebene E-E zur Bezugsebene B-B werden als Voreinstellwerte für die Defektklassifikation gespeichert.

Defektklassifikation heißt Vergleich des Bildinhaltes mit einem zu klassifizierenden Fehler mit dem Bildinhalt eines Referenzbildes.

Mit Hilfe der Einstellung des Abstandes FP\_ref der Trägerebene E-E zur Bezugsebene B-B wird der interessierende Bildinhalt in dem Referenzgebiet als Referenzbild aufgenommen und gespeichert.

Mit dem Voreinstellwert der Fokussierung OFFS\_ref wird vom Fehlerbild eine Bildserie mit unterschiedlichen Einstellungen des optischen Fokus aufgenommen und durch Bildverarbeitung das kontrastreichste Bild ausgewählt. Der diesem Bild zugeordnete Abstand der Trägerebene E-E zur Bezugsebene B-B bildet den Einstellwert zur Aufnahme des Fehlerbildes, das zur Klassifikation mit dem Referenzbild verglichen wird. In gleicher Weise wird mit weiteren Fehlerbildern verfahren.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Fokussierung bei der Abbildung strukturierter Oberflächen von scheibenförmigen Objekten durch geregelte Verstellung des meßbaren Abstandes einer zur Auflage für die Objekte dienenden Trägerebene zu einer Bezugsebene, **dadurch gekennzeichnet**, daß der durch geregelte Verstellung hergestellte Abstand durch einen ungeregelten, mindestens für ein Teilgebiet der Oberfläche anzuwendenden Voreinstellwert korrigiert wird
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung des Voreinstellwertes anhand einer Bildfolge an mindestens einer Position in einem, im wesentlichen ebenen Referenzgebiet der Oberfläche erfolgt, zu deren Aufnahme unterschiedliche Voreinstellwerte der Fokusregelung dienen, wobei die Qualität des Fokuszustandes nach mindestens einer Regel bewertet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der zum kontrastreichsten, durch Bildverarbeitung bestimmten Bild gehörige Voreinstellwert zur Einstellung eines korrigierten Abstandes dient.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der zum Bild mit minimaler Anzahl der Fehler gehörige Voreinstellwert zur Einstellung eines korrigierten Abstandes dient.
5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der zum Bild mit minimaler Anzahl der Fehlerpixel im Verhältnis zur Gesamtfehlerfläche gehörige Voreinstellwert zur Einstellung eines korrigierten Abstandes dient.
6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der zum Bild mit minimaler Anzahl der Pseudofehlerpixel gehörige Voreinstellwert zur Einstellung eines korrigierten Abstandes dient.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Auswahl des Referenzgebietes nach dem geringsten Gradienten des Höhenprofils der Oberfläche erfolgt, zu dessen Bestimmung die Werte des Abstandes der Trägerebene E-E zur Bezugsebene B-B an Orten sich wiederholender Höhenmarken für den Voreinstellwert der Fokusregelung zu ermitteln sind, bei dem mindestens eine Regel erfüllt

ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Inspektion, bei der die Fehlersuche schrittweise nach Bildfeldern erfolgt, zur Fokussierung der für die Bildfeldposition ermittelte Voreinstellwert der Fokusregelung dient. 5

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur Defektklassifikation, bei der ein Bild, das einen zu klassifizierenden Fehler enthält mit einem Referenzbild verglichen wird, die Aufnahme des Referenzbildes mit dem für die Referenzbildposition ermittelten korrigierten Abstand der Trägerebene E-E zur Bezugsebene B-B erfolgt, und zur Aufnahme des Bildes mit dem zu klassifizierenden Fehler der Wert des Abstandes der Trägerebene E-E zur Bezugsebene B-B für die Fokuseinstellung verwendet wird, der zum kontrastreichsten Bild einer Serie von Bildern mit dem zu klassifizierenden Fehler gehört, für die der für die zugehörige Bildposition ermittelte Voreinstellwert der Fokusregelung in Stufen variiert wird. 10  
15  
20

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65



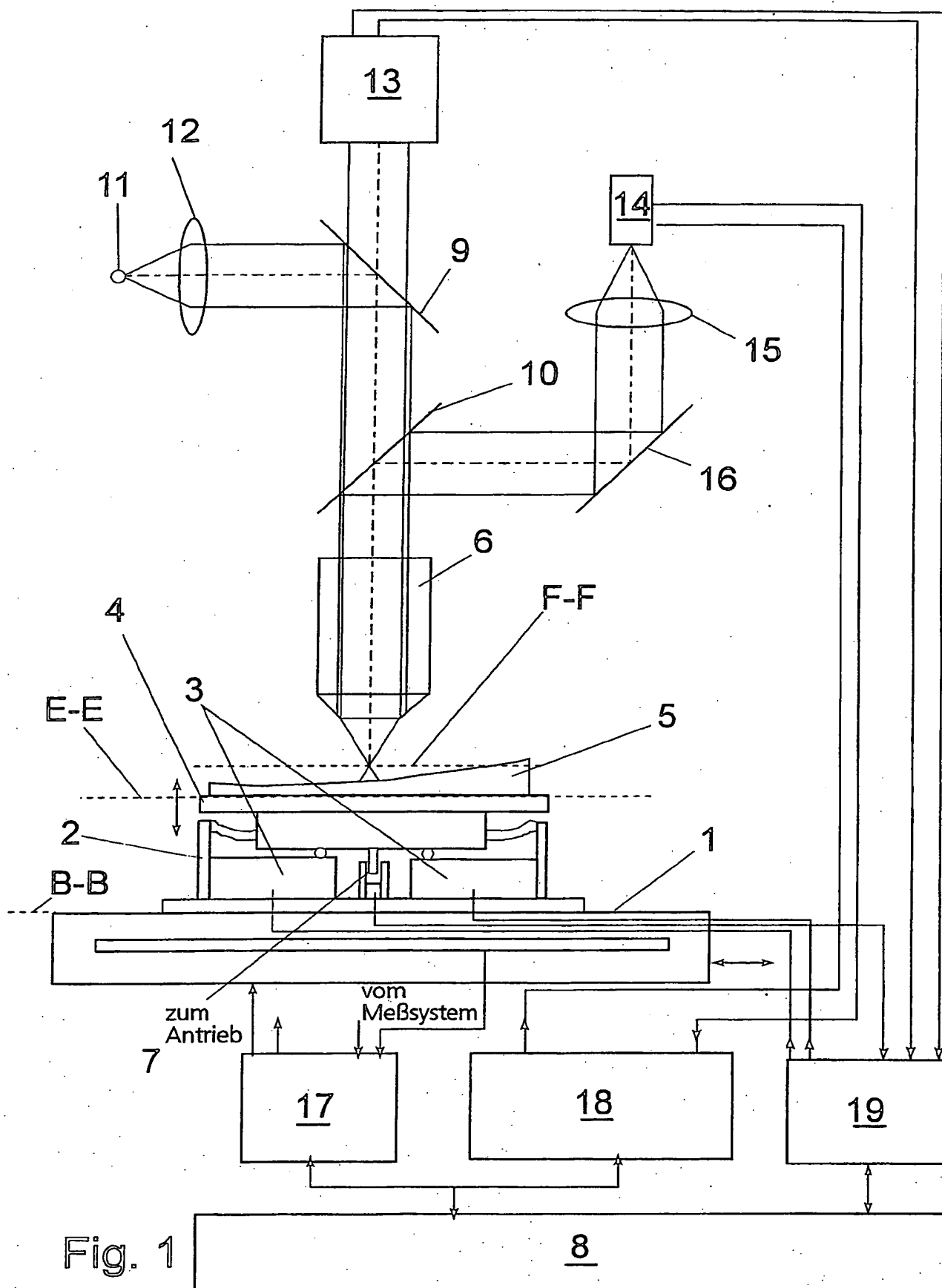


Fig. 1

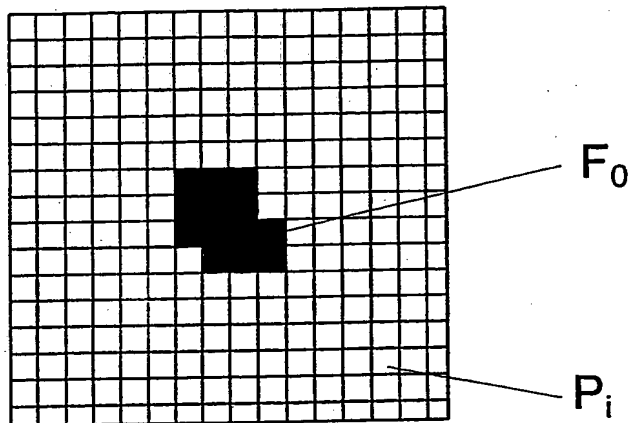


Fig. 2a

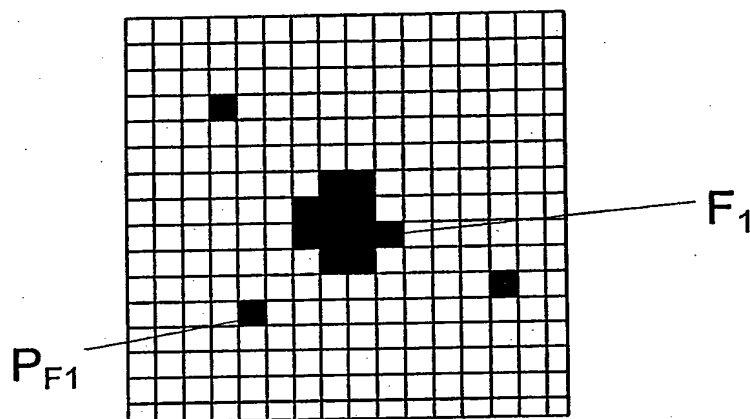


Fig. 2b

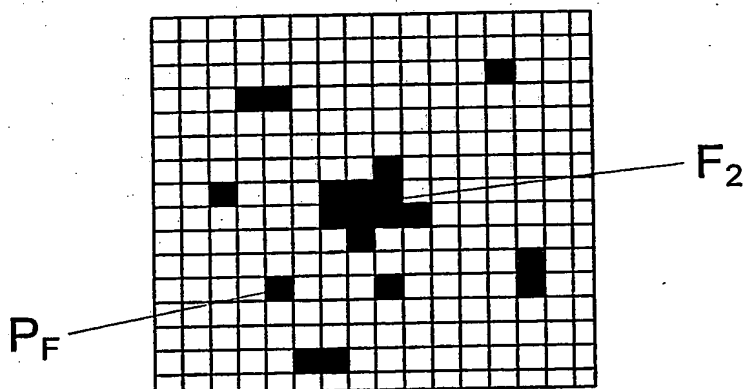


Fig. 2c

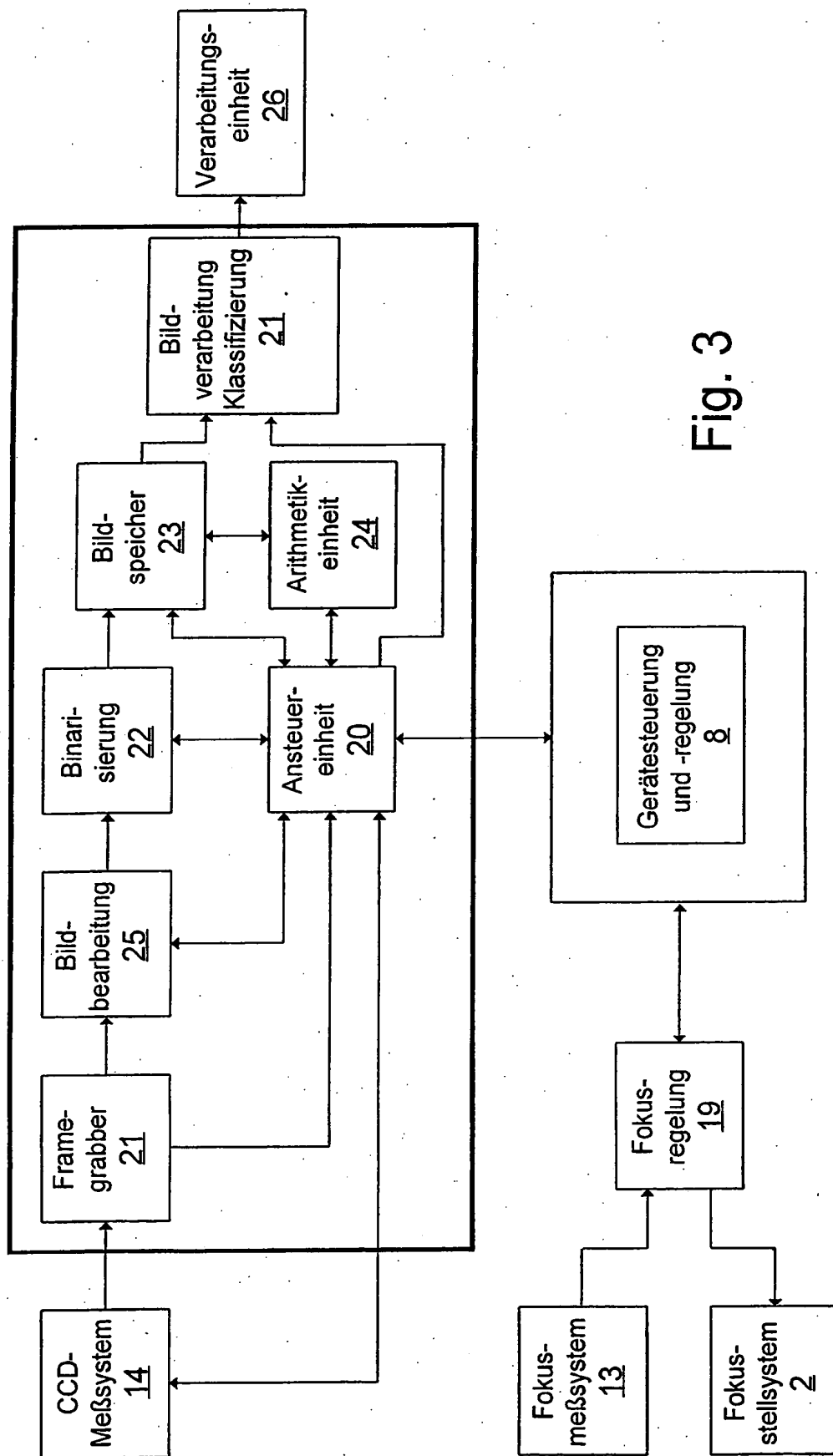


Fig. 3

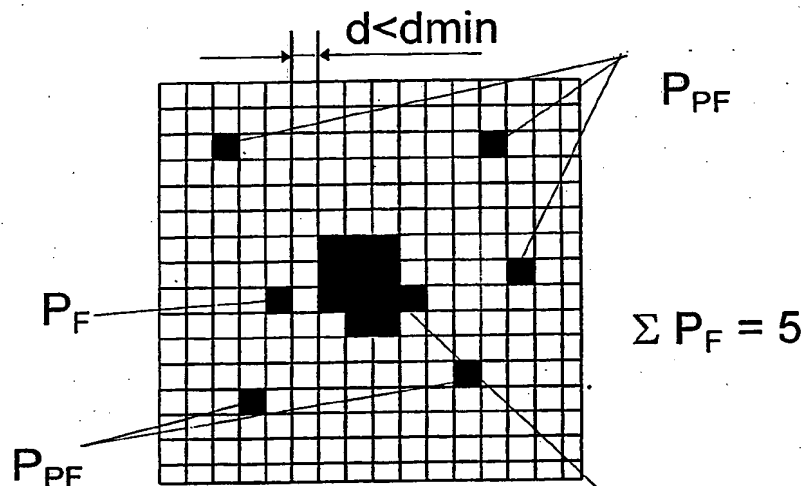


Fig. 4a

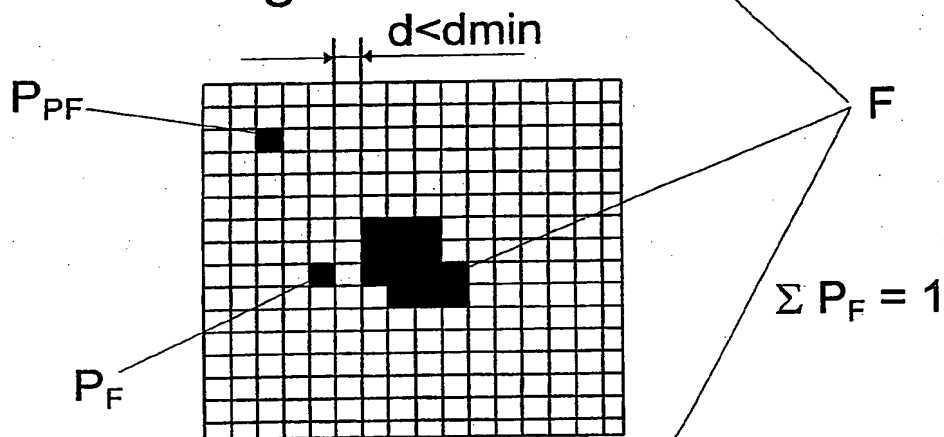


Fig. 4b

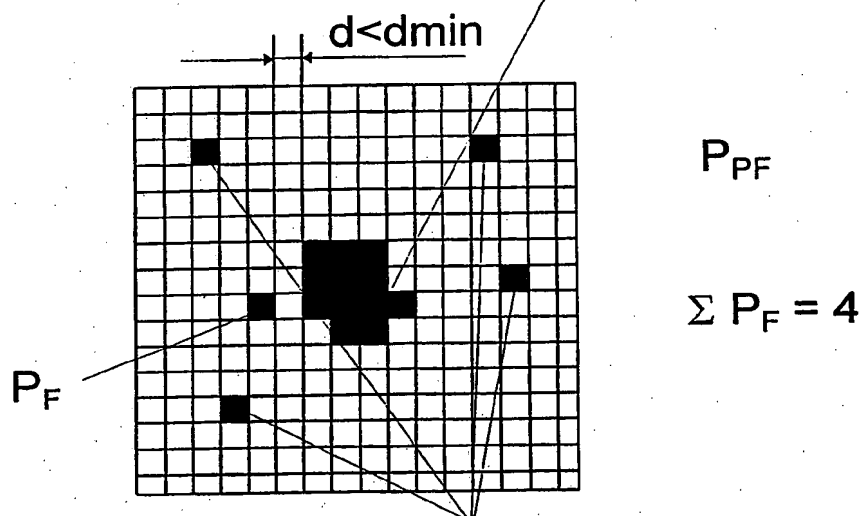


Fig. 4c

$P_{PF}$